

DOI: 10.7672/sgjs2026080030

盘扣式桁架梁支撑体系设计与应用*

张新¹, 王向鹏¹, 王睿², 郑永峰¹

(1. 山东建筑大学土木工程学院, 山东 济南 250101; 2. 济南市工程质量与安全中心, 山东 济南 250102)

[摘要] 盘扣式支撑架已广泛应用于混凝土结构支撑体系, 房屋建筑中由于设置梁下立杆多导致立杆横向间距不符合模数。双槽钢支撑体系可实现梁下无立杆, 但存在自重大、安拆困难问题。盘扣式桁架梁支撑体系以轻型桁架梁为梁底模板主龙骨, 两端通过扣接头与梁侧立杆上部可调长顶托连接盘扣接, 实现了梁下无立杆、自重小、安拆便捷。根据桁架梁跨度、弦杆间距及受压区宽度3种影响因素, 设计19组桁架梁方案, 通过数值分析研究不同因素对桁架梁力学性能的影响。研究结果表明, 桁架梁承载力由材料强度控制, 而非变形控制; 桁架梁跨度是影响桁架梁承载力的关键因素。桁架梁跨度从1200mm增大至1800mm, 承载力降低约44.8%; 相同跨度桁架梁增加上、下弦杆间距可增强桁架梁抗弯性能。弦杆间距从80mm增大至110mm, 1800mm跨度桁架梁承载力平均提高约14.1%; 受压区宽度变化主要影响均布荷载大小, 对桁架梁承载力影响较小。

[关键词] 盘扣式支撑架; 双槽钢; 桁架梁; 顶托; 弦杆; 数值模拟; 设计

[中图分类号] TU731.2

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2026)08-0030-06

Design and Application of Disk Lock Truss Beam Support System

ZHANG Xin¹, WANG Xiangpeng¹, WANG Rui², ZHENG Yongfeng¹

(1. School of Civil Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan, Shandong 250101, China;

2. Jinan Engineering Quality and Safety Center, Jinan, Shandong 250102, China)

Abstract: The disk lock support has been widely applied in concrete structure support systems. In building construction, the arrangement of vertical poles beneath beams often results in the transverse spacing of vertical poles failing to meet modulus requirements. The double-channel steel support system enables the elimination of vertical poles under beams, but it suffers from the issues such as heavy self-weight and difficulty in installation and dismantling. The disk lock truss beam support system uses lightweight truss beams as the main keel for beam bottom formwork, with both ends connected to the adjustable jacking on the vertical poles at the beam sides via coupler connectors, achieving no vertical poles under beams, light self-weight, and convenient installation and dismantling. Based on three influencing factors such as truss beam span, chord member spacing, and compression zone width, this paper designed 19 truss beam configurations and conducted numerical simulation to investigate the effects of different factors on the mechanical properties of truss beams. The research results show that the load-bearing capacity of truss beams is governed by material strength rather than deformation. The span of the truss beam is a key factor affecting its load-bearing capacity. When the truss beam span increased from 1200mm to 1800mm, the load-bearing capacity decreased by approximately 44.8%. For truss beams with the same span, increasing the spacing between the upper and lower chord members enhanced the flexural performance. When the chord member spacing increased from 80mm to 110mm, the load-bearing capacity of the truss beams with a span of 1800mm increased by an average of approximately 14.1%. Variations in the compression zone width mainly affected the magnitude of the uniformly distributed load

* 山东省重点研发计划(重大科技创新工程)(2021CXGC011204)

[作者简介] 张新, 副教授, 硕士生导师, E-mail: 15969698504@163.com

[收稿日期] 2025-10-27

and had a relatively minor influence on the load-bearing capacity of the truss beams.

Keywords: disk lock supports; double-channel steel; truss beams; jacking; chord member; simulation; design

0 引言

盘扣式脚手架因其承载力高、结构稳定性好等优点,在房屋建筑与桥梁施工中广泛应用。房屋建筑施工中梁下设置立杆支撑,往往出现立杆横向间距不符合水平杆长度模数的情况,需采用扣件式钢管连接立杆。该做法不仅会削弱架体的整体力学性能,还会降低架体安拆效率。相关规范^[1]引入了双槽钢托梁体系搭设方法,该体系将双槽钢托梁固定于立杆连接盘上,使梁底荷载通过连接盘传递至梁侧板底立杆,从而实现梁底不设立杆布置方式。虽双槽钢托梁体系在承载力方面表现良好,但仍存在自重较大、安拆难度大的问题。

国内专家对盘扣式支撑架进行了诸多研究与实践。郭正兴等^[2]研发一种 Q355 钢异形焊管次楞和主楞,实现了下部架体和上部主次楞承载力、变形控制协调一致。张静等^[3]提出一种新型框式盘扣梁板模板支撑体系,借助抽拉内外桁架梁作为主龙骨,实现了模板支撑桁架自由变跨。Zheng 等^[4]通过研究不同结构形式的脚手架节点转动刚度特性,总结出盘扣式架体和碗扣式架体连接节点的弯矩阻力及节点转动刚度特性差异。于春祥等^[5]对盘扣式架体与扣件式架体连接节点的力学差异进行了深入分析,总结出在相同架体搭设参数条件下,盘扣式架体连接节点在稳定性与力学性能方面显著优于扣件式架体连接节点。张翟杨等^[6-7]、吴威霖^[8]以实际工程中的双槽钢托梁体系为研究对象,通过有限元模拟与理论计算方式,验证了双槽钢托梁体系的稳定性与安全性,明确了搭设参数和梁荷载作用形式对双槽钢托梁体系的力学性能影响,为双槽钢托梁体系的设计及应用提供了指导。张鑫等^[9]、汪铁强等^[10]研制了一种可调节高度的长顶托,将其与双槽钢托梁体系相结合,并通过实践验证了其可行性。

综上所述,现有研究主要集中在受压主龙骨构造、节点连接性能及双槽钢托梁体系的力学性能研究等方面。盘扣式桁架梁支撑系统是近几年出现的一种新型梁底支撑体系,该体系与双槽钢托梁体系类似,梁底均不设立杆,但其自重较小、安拆方便。桁架梁支撑体系虽已开始推广应用,但其在力学性能、设计参数、适用范围等方面仍有待深入研究与分析。本文通过不同盘扣式桁架梁设计参数

对桁架梁力学性能的影响研究,总结桁架梁在不同设计参数下力学性能变化规律,为盘扣式桁架梁的进一步推广应用提供参考。

1 盘扣式桁架梁支撑体系构造

盘扣式桁架梁支撑体系主要由桁架梁、长顶托和下部盘扣架体组成(见图 1)。桁架梁由上、下弦杆与腹杆组成,梁端设置盘扣式扣接头,与长顶托上连接盘通过插销连接(见图 2)。长顶托插入盘扣架立杆,通过可调螺母调节长顶托外伸高度与连接盘高度。工作原理是将混凝土梁与模板自重通过次龙骨直接施加于桁架梁,桁架梁将荷载传递至长顶托上的盘扣,盘扣将荷载向下传递给立杆。

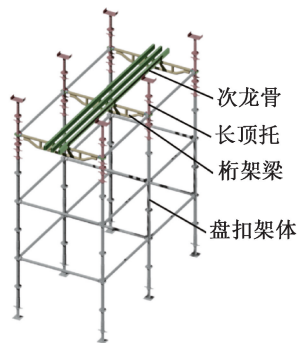


图 1 盘扣式桁架梁支撑体系

Fig. 1 Disk lock truss beam support system

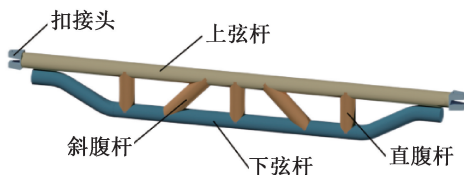


图 2 盘扣式桁架梁构成

Fig. 2 Composition of disk lock truss beam

2 盘扣式桁架梁力学性能分析

2.1 桁架梁设计

桁架梁上、下弦杆及腹杆材料均为 Q355 钢。根据相关规范^[1,11]规定, Q355 钢的强度设计值为 300N/mm^2 , 弹性模量为 206GPa , 密度为 $7\,850\text{kg/m}^3$, 泊松比为 0.3。上、下弦杆圆钢管外径均为 48.3mm , 壁厚为 3.2mm , 下弦杆底部两侧设有 150° 的外弯折段。腹杆圆钢管外径为 33.7mm , 壁厚为 3.2mm , 其中斜腹杆底部倾斜 45° 。桁架梁按

表 1 桁架梁构造尺寸

Table 1 Structural dimension of the truss beams

桁架梁类型	桁架梁跨度	上弦杆长度	下弦杆长度	上、下弦杆间距	直腹杆中心间距	腹杆长度	斜腹杆中心与跨中间距	斜腹杆长度
A 型	1 200	1 057	997	80	200	88	无	124.4
B 型	1 500	1 357	1 297	80	350	88	175	124.4
C 型	1 800	1 657	1 597	80	400	88	200	124.4
D 型	1 800	1 657	1 597	110	400	118	200	152.7

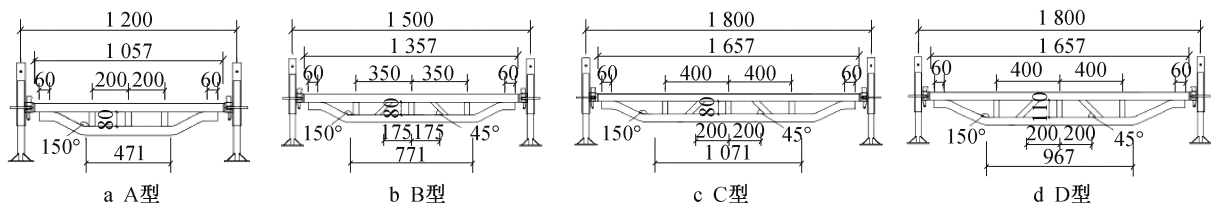


图 3 不同类型桁架梁构造

Fig. 3 Structures of different types truss beams

不同跨度和不同弦杆间距设计 4 种类型,具体构造尺寸如表 1、图 3 所示。

2.2 桁架梁计算方案设计

根据桁架梁所承受上部混凝土梁的截面宽度,按受压区宽度 200, 300, 400, 500, 600mm 进行设计分类,如图 4、表 2 所示。

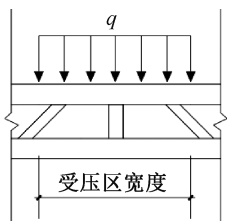


图 4 受压区分布

Fig. 4 The compression zone distribution

2.3 计算分析

采用有限元软件 ANSYS 建立桁架梁模型,桁架梁采用 beam188 梁单元进行模拟。上、下弦杆间通过耦合约束连接。有限元模型基于以下假定:①桁架梁两端按半刚性连接考虑;②上、下弦杆与腹杆间为刚性连接;③上、下弦杆间两端连接为刚性连接。

计算结果如图 5、表 3 所示。

通过对比有限元计算结果可得出以下结论。

1) 根据相关规范^[1],水平杆挠度容许值应为跨度的 1/250,在规范容许位移范围内,19 组方案的最大应力均达到 Q355 钢的强度设计值 300N/mm²,说明桁架梁承载力由材料强度而非变形控制。

2) 桁架梁跨度是影响其承载力的关键因素。随着跨度增大,桁架梁承载力显著降低。桁架梁跨度从 1 200mm 增至 1 500mm 时承载力降低约 15.1%,从 1 200mm 增至 1 800mm 时承载力降低

表 2 桁架梁设计方案

Table 2 Design schemes of the truss beams

桁架梁类型	方案名称	受压区宽度/mm
A 型	方案 1	200
	方案 2	300
	方案 3	400
	方案 4	500
B 型	方案 5	200
	方案 6	300
	方案 7	400
	方案 8	500
	方案 9	600
C 型	方案 10	200
	方案 11	300
	方案 12	400
	方案 13	500
	方案 14	600
D 型	方案 15	200
	方案 16	300
	方案 17	400
	方案 18	500
	方案 19	600

约 44.8%。

3) 增大弦杆间距可有效提升桁架梁承载力。对比相同跨度(1 800mm)的 C 型(弦杆间距 80mm)和 D 型(弦杆间距 110mm)桁架梁,在相同受压区宽度下,D 型的承载力均显著高于 C 型。例如,在受压区宽度为 200mm 时,承载力从 31.28kN 提升至 35.69kN,增幅约 14.1%,表明增大截面高度(即弦杆间距)能有效提高截面的抵抗惯性矩,提升结构的抗弯性能和整体承载效率。

4) 受压区宽度主要影响均布荷载大小,对桁架梁承载力影响较小。A 型桁架梁中,承载力随受压区宽度增加而略有增加(从 47.3kN 增至 56.9kN)。

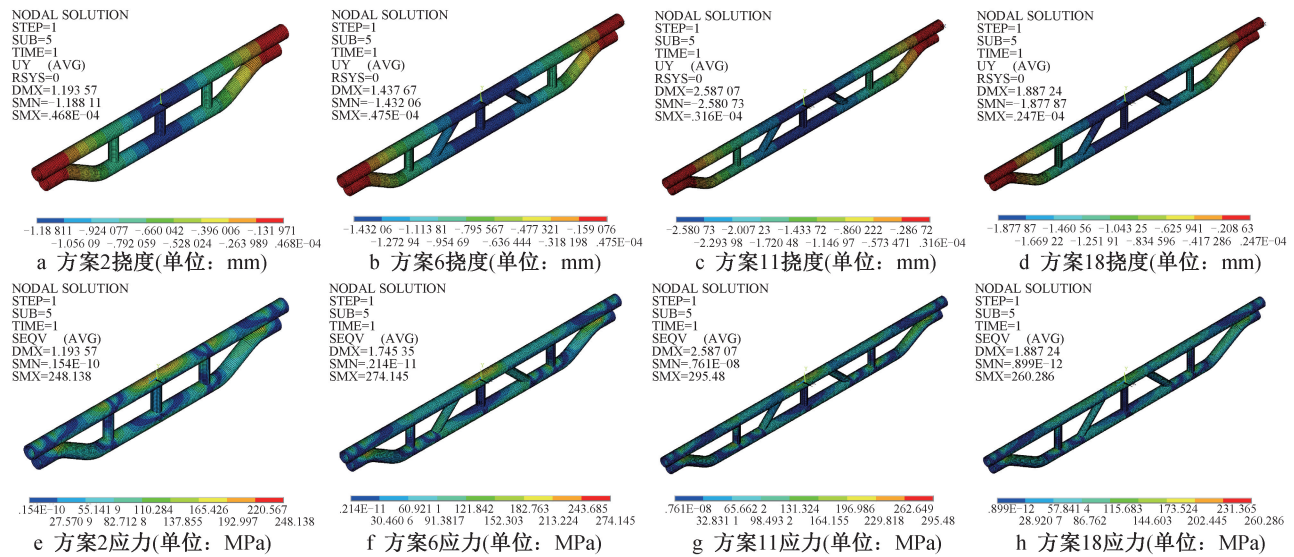


图5 桁架梁方案计算结果

Fig. 5 Calculation results of the truss beam schemes

表3 桁架梁有限元计算结果

Table 3 Finite element calculation results of the truss beams

方案名称	设计应力值/MPa	挠度变形/mm	均布荷载值/(N·mm ⁻¹)	承载力/N
方案1		1.34	236.66	47 331
方案2		1.44	181.35	54 405
方案3		1.36	139.65	55 860
方案4		1.31	113.78	56 890
方案5		1.96	227.27	45 455
方案6		1.90	153.21	45 963
方案7		1.88	116.73	46 692
方案8		1.86	97.99	48 996
方案9		1.79	81.47	48 882
方案10	300	2.73	156.37	31 275
方案11		2.62	101.53	30 459
方案12		2.54	77.06	30 825
方案13		2.45	60.94	30 471
方案14		2.35	50.19	30 117
方案15		2.45	178.44	35 688
方案16		2.35	118.08	35 425
方案17		2.24	87.58	35 034
方案18		2.16	69.15	34 578
方案19		2.08	56.92	34 150

C型和D型桁架梁中承载力则随受压区宽度增加呈小幅度下降趋势,分析原因为不同类型桁架梁腹杆分布不同所致。

5) B, C, D型桁架梁呈现随受压区宽度增加挠度变形最大值减小规律。A型桁架梁中受压区宽度由200mm增至300mm时,挠度变形增加,随后呈减小规律。分析原因在于A型桁架梁受压区宽度为200mm时,受压区距两侧直腹杆水平位置较远,荷载主要由跨中直腹杆承受,未能充分发挥两侧直腹杆的支撑能力,限制了其承载力充分发挥。B, C, D

型桁架梁随受压区宽度增加,荷载分布范围扩大,更有效激活了多根腹杆协同工作,优化了结构的传力路径,表现为挠度变形减小。

6) 经理论计算结果分析,A型桁架梁在受压区宽度为200~500mm情况下,建议承载力设计值为45kN;B型桁架梁在受压区宽度为200~600mm情况下,建议承载力设计值为43kN;C型桁架梁在受压区宽度为200~600mm情况下,建议承载力设计值为28kN;D型桁架梁在受压区宽度为200~600mm情况下,建议承载力设计值为32kN。

2.4 桁架梁构造优化

1) 跨度与截面高度协同设计。桁架梁跨度与上、下弦杆间距(截面高度)是影响其承载性能的关键因素。分析表明,跨度增大导致承载力显著降低,而增大弦杆间距则可有效提升桁架梁承载力。因此,在构造设计上应建立跨度与截面高度的协同设计准则。对于1500mm及以上较大跨度工况,建议优先采用上、下弦杆间距110mm;对于1200mm及以下较小跨度,建议维持80mm标准间距,在满足承载力要求的同时兼顾经济性。

2) 腹杆节点匹配优化设计。桁架梁设计中可通过调节腹杆布置及数量对桁架梁使用中常见的受压区宽度进行综合设计,实现各受压区宽度与腹杆节点位置相匹配,保证当荷载直接作用于节点区域时可形成较优传力路径,提高承载力并控制变形。

3) 腹杆系统强化配置。腹杆布置建议考虑跨度因素,如对1800mm跨度桁架梁跨中区域进行适当加密,完善荷载传递路径,提高桁架梁承载力。

4) 承载力控制准则。桁架梁设计应以应力控

表 5 荷载标准值

Table 5 Load standard values

荷载种类	荷载名称	荷载取值
永久荷载	模板及其支架自重标准值 G_{1k}	0.5kN/m ²
	钢筋混凝土梁自重 G_{2k}	25.5kN/m ³
	钢筋混凝土板自重 G_{3k}	25.1kN/m ³
可变荷载	施工人员及设备荷载 Q_{1k}	2.5kN/m ²

式中: q_1 为混凝土次梁传递荷载; h_1 为梁高, 取 1.1m; q_2 为梁侧楼板传递荷载; h_2 为板厚, 取 0.15m; F 为桁架梁承受的荷载; b_1 为混凝土梁宽度, 取 0.4m; L 为沿梁方向桁架梁相邻间距, 取 1.5m; b_2 为梁侧立杆与梁中心线距离, 取 0.75m; a 为混凝土次梁梁宽, 取 0.4m; $[f]$ 为 B 型桁架梁承载力建议设计值, 取 43kN。

经计算, 满足承载力要求。

3.4 连接盘抗剪承载力验算

$$\frac{F}{2} = 16.477\text{kN} < [f]_{\text{连接盘}} \quad (3)$$

式中: $[f]_{\text{连接盘}}$ 为连接盘抗剪承载力设计值, 根据文献[1]取 40kN。

经计算, 满足抗剪承载力要求。

4 结语

本文通过数值模拟系统分析了桁架梁跨度、弦杆间距与受压区宽度等因素对盘扣式桁架梁力学性能的影响。研究表明, 桁架梁承载力由材料强度而非变形控制; 桁架梁跨度是影响其承载力的关键因素, 随着跨度增大, 承载力显著降低; 适当增大弦杆间距可有效提升截面抗弯刚度与承载力; 受压区宽度则通过影响荷载分布路径进一步调节结构受力性能。基于分析结果, 提出了桁架梁承载力建议设计值、桁架梁构造优化建议, 包括跨度与截面高度的协同设计、腹杆节点匹配优化设计、腹杆系统强化配置及承载力控制准则, 并通过对实际工程的验算验证了盘扣式桁架梁支撑体系在梁下无立杆布置情况下的可行性与安全性。

参考文献:

- [1] 南通新华建筑集团有限公司, 江苏捷模架科技有限公司. 建筑施工承插型盘扣式钢管脚手架安全技术标准: JGJ/T 231—2021[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.
Nantong Xinhua Construction Group Co., Ltd., Jiangsu Rapid Formwork & Scaffolding Co., Ltd. Technical standard for safety of disk lock steel tubular scaffold in construction: JGJ/T 231—2021[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2021.
- [2] 郭正兴, 温科, 陈安英. 盘扣式钢管模板支撑架高效应用技术[J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(17): 67-70, 130.
GUO Z X, WEN K, CHEN A Y. Efficient application technology

of disc buckle steel pipe formwork support frame[J]. Construction technology, 2024, 53(17): 67-70, 130.

- [3] 张静, 武雷, 田野, 等. 新型框式盘扣梁板模板支撑体系研究[J]. 施工技术, 2014, 43(2): 90-92.
ZHANG J, WU L, TIAN Y, et al. Research on new technology of template support of frame wheel formwork [J]. Construction technology, 2014, 43(2): 90-92.
- [4] ZHENG Y F, GUO Z X. Investigation of joint behavior of disk-lock and cuplok steel tubular scaffold [J]. Journal of constructional steel research, 2021, 177: 106415.
- [5] 于春祥, 薛晶超, 唐广达, 等. 盘扣架体水平杆采用盘扣连接与扣件连接的力学差异分析[J]. 建筑技术开发, 2024, 51(10): 77-79.
YU C X, XUE J C, TANG G D, et al. Mechanical difference analysis of the horizontal rod of the plate buckle frame in using plate buckle connection and fastener connection [J]. Building technology development, 2024, 51(10): 77-79.
- [6] 张翟杨, 姚传勤, 白蓉, 等. 大盘扣式脚手架托梁转换施工技术[J]. 湖南工程学院学报(自然科学版), 2023, 33(4): 89-94.
ZHANG Z Y, YAO C Q, BAI R, et al. Construction technology of large disc buckle type scaffolding joists [J]. Journal of Hunan Institute of Engineering (natural science edition), 2023, 33(4): 89-94.
- [7] 张翟杨. 盘扣式模板托梁支撑体系稳定性与安全性研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2024.
ZHANG Z Y. Study on the stability and safety of plate fastening formwork joist support system [D]. Huainan: Anhui University of Science & Technology, 2024.
- [8] 吴威霖. 基于双槽钢龙骨二次架体的承插型盘扣式模板支架稳定分析[D]. 重庆: 重庆大学, 2017.
WU W L. Stability analysis of disk lock steel tubular formwork support with second supporting layer on double channel keel [D]. Chongqing: Chongqing University, 2017.
- [9] 张鑫, 张庆帅, 郭炳乾, 等. 钢制长顶托在盘扣式脚手架梁底模数确定中的应用研究[J]. 工程建设与设计, 2024(14): 16-18.
ZHANG X, ZHANG Q S, GUO B Q, et al. Study on the application of steel long top bracket in determining the bottom modulus of plate-buckle scaffold beam [J]. Construction & design for project, 2024(14): 16-18.
- [10] 汪铁强, 邢响, 元乙强, 等. 承插型盘扣支撑架组合设计优化及施工技术[J]. 建筑技术开发, 2024, 51(S1): 172-177.
WANG T Q, XING Y, QI Y Q, et al. Combination design optimization and construction technology of socket-type buckle support frame [J]. Building technology development, 2024, 51(S1): 172-177.
- [11] 中冶京诚工程技术有限公司. 钢结构设计标准: GB 50017—2017[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
Capital Engineering & Research Incorporation Ltd. Standard for design of steel structures: GB 50017—2017[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2017.